

Trend & Technology 2

탄소나노튜브를 적용한 LCD-BLU 기술 환경, 도전, 그리고 전망

글 고려대학교 전기전자전파공학부 주병권 교수
(<http://diana.korea.ac.kr>, bkju@korea.ac.kr)



기대치에 100% 미치지 못할지라도 나노 기술을 적용한 일부 제품군들은 실용화가 완료되었고, 일부는 시장을 두드리고 있으며, 일부는 R&D 막바지에서 마지막 노력을 경주 중이다. 특히 나노 기술의 효시라 할 수 있는 탄소나노튜브(CNT)와 관련된 소재 및 부품 기술은 시작이 창대 했던 만큼 결과도 상대적으로 일찍 선을 보이고 있다. 이들 중 하나가 CNT 전자방출원을 이용한 광원으로서 초기에는 평판 디스플레이, 현재에는 LCD용 BLU, 그리고 미래에는 실내의 조명에 이르기까지 그 응용도를 생각하고 있다.

로 다양한 광원 및 조명 기구들이 존재한다. CNT 광원은 다양한 광원들의 다양한 장단점 중에서 친환경성(유해 물질의 절감 및 제조 공정의 단순화), 빠른 응답 속도 및 정밀도(분해능), 그리고 소비 전력의 감소, 가격의 절감에서 실용화를 향한 실마리를 찾으려 하고 있다.

1. CNT 기술, 광원으로의 도전

1.1 CNT 광원에서 바라본 기존 광원의 빈틈

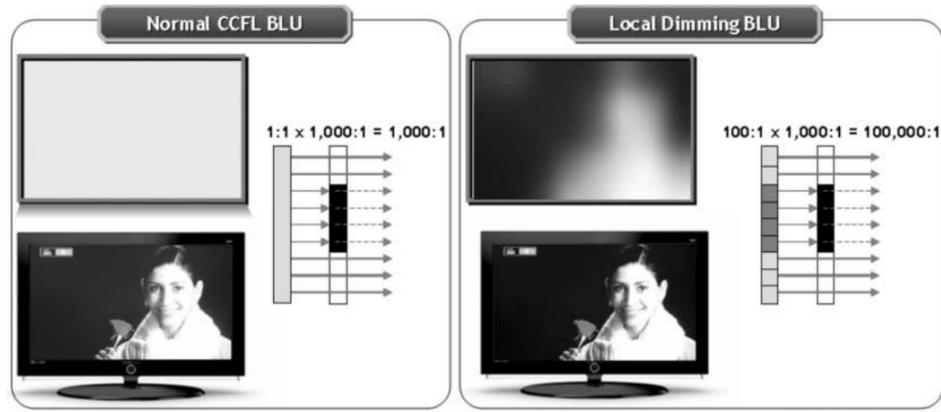
에디슨의 전구로부터 현재의 LED 광원에 이르기까지 실

1.2 환경, 그린 에너지 연관성으로서의 호소력

CNT 광원의 환경 관련 특징들 즉, 수은, 납 등을 유해 물질을 최소화하려는 시도, 반도체 공정을 가급적 탈피한 후막 공정 및 자연 친화성 공정 적용의 가능성, 그리고 소비 전력



탄소나노튜브를 적용한 LCD-BLU 기술 : 환경, 도전, 그리고 전망



(출처: SAIT, 2008년)

〈그림 1〉 일반적인 BLU(좌)와 Local Dimming이 적용된 BLU(우)의 비교

을 낮추기 위한 노력 등의 측면에서는 현재 화두가 되고 있는 환경 및 그린 에너지 이슈에 부합되는 면이 적지 않다. 특히 유해물질 사용제한 지침(RoHS)은 환경 규제에 대처하기 위한 노력을 더욱 자극할 것이 분명하다.

2. LCD-BLU의 기술의 발전

2.1 CCFL 기술의 한계와 후속 광원기술의 능동적인 대처

LCD는 스스로 빛을 내지 못하는 수광형 디스플레이로서 BLU로부터의 빛을 이용하며, 액정이 이 빛의 양을 조절하여 화상을 만들게 된다. BLU의 종류로는 현재까지 주로 사용되어 온 CCFL을 비롯한 형광 램프와 최근에 영역을 확장하고 있는 LED, 그리고 미래형 BLU로서 OLED와 FEL 등이 있다.

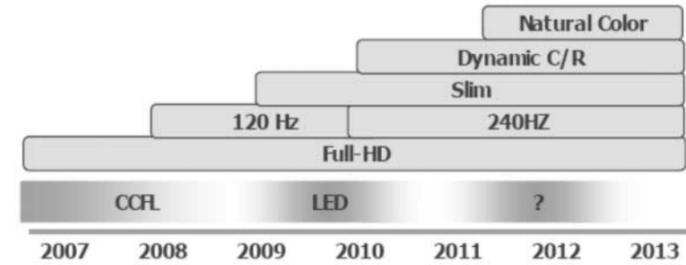
CCFL은 높은 발광효율을 가지고 또한 검증된 기술이라는 강점이 있지만, 선광원 형태의 빛을 면광원 형태로 전환시켜야 한다. 따라서 반사판, 확산판, 프리즘 시트, 보호필름 등의 여러 광학부품들이 필요하게 되며, 이들은 주로 재활용이 어려운 PMMA가 주종인 고분자 화합물 재료로 만들어진다. 또한 LCD가 점점 대면적화가 되면서 더욱 더 많은 수의 CCFL 광원을 필요로 하고, 광원의 수

가 증가함에 따라 동일하게 인버터의 수도 증가해야 하며, 더구나 발광효율을 높이는 데에 있어서 RoHS 규제물 질인 수은이 꼭 필요하다.

요약하면 CCFL의 근본적인 약점인 Local Dimming 능력의 부재, 높은 소비전압, 부피와 무게 절감의 한계, 그리고 수은과 납 등의 환경 유해 물질의 적지 않은 사용 등이 성능, 경제성 그리고 환경적인 요인을 보다 강하게 추구하는 시대적인 분위기를 공격적으로 극복하지 못하고 있다.

여기서, Local Dimming 기능은 LCD 영상의 밝고 어두움 정도에 대응하여 BLU로부터 빛의 밝기도 연동시킴으로써 화질의 향상 및 소비 전력의 절감을 구현하는 방식으로, CCFL에서는 이 기술의 적용에 한계가 있다(그림 1).

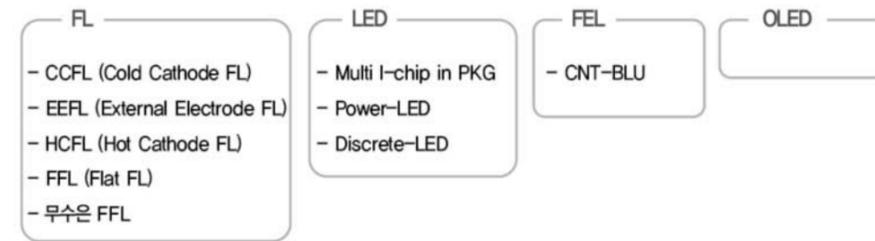
이러한 이유로 LCD의 굳건한 파트너로서 오랜 시간을 품미하여 왔던 CCFL 기술은 LCD TV로부터 시작된 LED BLU의 등장과 함께 그 입지가 급격히 좁아지고 있다. 특히 TV 부문에서는 화면이 더욱 대형화되면서 CCFL BLU의 구성 부품수가 더욱 증가하여 부피 및 무게를 줄이는 것이 더욱 어려워졌고, 아울러 패널 가격의 약 40%를 BLU가 차지하는 상황이 되면서 이의 가격 인하에 대한 요구가 더욱 강해지고 있다.



Source: Mirae Asset Research

(출처: 미래에셋리서치센터, 2009년 5월)

〈그림 2〉 LCD TV 업체의 마케팅 포인트 변화



※FL : Fluorescent Lamp LED : Light Emitting Diode : FEL : Field Emission Lamp : OLED : Organic LED

(출처: SAIT, 2008년)

〈그림 3〉 LCD BLU 기술의 발전 단계

2.2 LCD TV 업체의 마케팅 포인트 변화

Full HDTV 이후 기존 LCD TV 업체들의 마케팅 전략을 살펴 보면 구동 주파수는 120 Hz를 거쳐 240 Hz로 진행하여 LCD의 동작속도와 관련된 문제점들을 완전히 해결할 계획이며, 완벽한 슬림형, Dynamic C/R, 그리고 천연색 구현을 중장기 전략으로 잡고 있다. BLU에 있어서는 기존의 CCFL을 LED로 대체하려는 시도는 분명하지만, LED 다음의 BLU는 아직 정해져 있지 않다(그림 2).

2.3 다음 세대 BLU의 능동적인 대처

앞에서 서술했듯이 BLU는 LCD 패널의 소비전력과 가격 면에서 상대적으로 매우 높은 비중을 차지하므로 기술 개발이 매우 큰 이슈가 되고 있다. 이와 함께 LCD의 성능 문제, 환경 문제 등을 복합적으로 고려하여 FL 이외에도 다양한 후면 광원이 개발되고 있으며, 대표적인 것이 LED, FEL, OLED 등이다(그림 3).

따라서 이미 실용화된 LED BLU를 필두로 하여, 플라즈마 적용 방식의 평판형 형광램프(FFL), 유기발광다이오드(OLED) 광원, 그리고 CNT 전자방출원을 이용하는 CNT BLU 기술 등이 능동적으로 개발되고 있다. LED BLU의 경우 우수한 발광 효율과 색재현율, 고품질 동영상 특성을 보이고 있으며, 점광원이라는 점으로 인하여 다소 복잡한 광학 시스템 및 회로, 발열 문제, 그리고 여전히 높은 소비전력 및 가격 등에 대한 해결이 필요하다(표 1).

2.4 LED-BLU와 CNT-BLU의 예측 비교

현재 시장의 주목을 받고 있는 Edge 방식의 LED BLU와 비교할 때, CNT BLU의 성능과 가격 경쟁력은 우위에 있다고 판단된다. 가격, 소비전력에서는 대등하고, 두께와 수명에서는 약간 불리하며, 휘도와 색재현성, 그리고 화질(대조비)과 직결되는 Local Dimming 면에서는 상대적으로 우위를 보인다. 직하형 LED BLU도 Local Dimming을 실현할 수 있으



탄소나노튜브를 적용한 LCD-BLU 기술 : 환경, 도전, 그리고 전망

〈표 1〉 LCD BLU의 기술별 특징 비교

40인치 기준		LED BLU	CCFL	FFL	CNT BLU 목표
소비전력 (W)		230	150	180	150
휘도 (cd/m ²)		8,500	9,000	9,000	15,000
균일도 (%)		85	75~80	90 이상	92
색재현성 (%)		105	92	92	92
수명 (hrs)		50,000	30,000	35,000	30,000
Dynamic Control		Local Dimming Impulse Driving	제한적 Dimming	불가능	Local Dimming Impulse Driving
친환경성		무수은	수은 포함	수은 포함→무수은	무수은
구조					
주요 소재	BLU 본체	LED : 수백개 DC-DC 컨버터 : 1개	CCFL : 16개 인버터 : 16개	면광원 : 1개 인버터 : 1개	면광원 : 1개 SMPS : 1개
	기타	LED 간 휘도편차 보정 회로	-	-	-
시트	프리즘시트 : 2개 확산시트 : 1개 (도광판 : 1개) 반사시트 : 1개	프리즘시트 : 2개 확산시트 : 1개 반사시트 : 1개	프리즘시트 : 1개 확산시트 : 1개	프리즘시트 : 0~1개 확산시트 : 0~1개	

(출처: SAIT, 2008년)

나, 가격, 소비전력, 두께, 휘도 등에서 CNT BLU 대비 열세를 보이고 있으며, 반면에 수명과 색재현성에서 우위를 점하고 있다. 이상을 고려할 때 기술적으로 남은 과제인 수명 문제만 해결된다면 시장 진입시 LED BLU와 경쟁력이 있다고 판단된다(표 2).

3. CNT 광원 기술

3.1 CNT 전자방출원 적용 광응용 기기

탄소나노튜브를 이용한 광원은 기본적으로 3극관 형

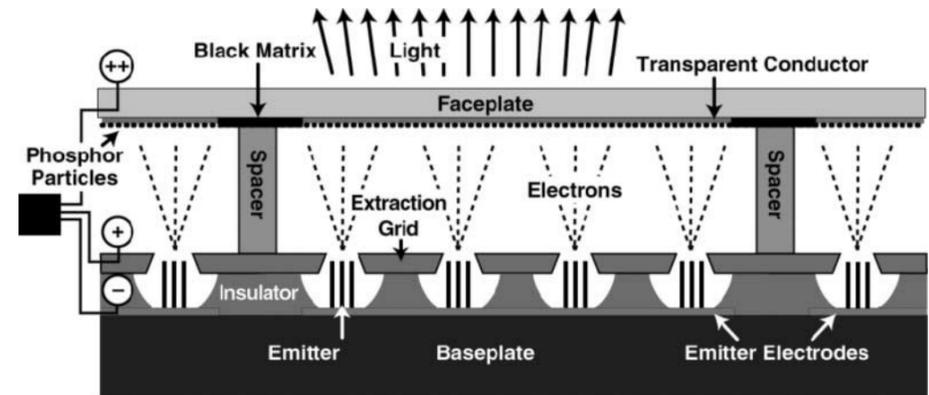
태를 가진다. 즉, 탄소나노튜브가 갖는 소재와 공정 특수성으로 인하여 음극 부분에서 소재 및 제조 공정, 그리고 구조상의 변형은 있을지라도 음극 및 게이트 전극의 역할, 양극 구조, 스페이서를 비롯한 진공 패키징 구조 등은 전반적으로 3극관 형 전자방출디스플레이(FED)의 기본 원리와 구조를 따르고 있다(그림 4).

동작 순서에 따라 각 부분의 기능과 역할을 살펴보면 기판(Baseplate) 위에 형성된 전자방출원 전극(Emitter electrode)과 전자 추출용 Grid 전극(Extraction grid)에 전압이 인가되면, 전자방출원(Emitter)인 CNT로부터 전자

〈표 2〉 LED BLU와 CNT BLU의 성능비교

	LED (Direct)	LED (Edge)	CNT
가격	\$322.3	\$246.0	\$242.2
소비전력 (W)	180	90	<90
두께 (mm)	20~40	5~6	8~12
휘도 (cd/m ²)	8,500	8,000	12,000
수명 (시간)	50,000	50,000	30,000
색재현성 (%)	105%	75~92%	92~95%
Local Dimming	Yes	No	Yes

(출처: 미래에셋리서치센터, 2009년 5월)



〈그림 4〉 FED의 기본 구조

들이 전계 방출된다. 방출된 전자들은 진공으로 유지되는 공간을 가로질러, 더욱 강한 양전압이 인가된 전면 기판(Faceplate)로 가속돼 위 도포되어 있는 형광체 입자(Phosphor particle)들을 충돌, 여기시킴으로써 빛을 생성한다.

생성된 빛은 투명 전극(Transparent conductor)과 유리 기판을 통과하여 밖으로 나오게 되며, 빛의 색깔은 형광체, 빛의 밝기는 방출된 전자의 수와 가속 에너지와 관계된다. 패널 내부에 설치된 스페이서는 패널 내부와 외부간의 압력 차이로부터 두 기판간의 간격을 유지시키는 역할을 하며, Black matrix는 다른 디스플레이와 마찬가지로 화소간의 간섭을 방지하는 역할을 한다.

CNT 전자방출원을 이용한 광응용 기기는 FED, CNT BLU 그리고 조명 분야를 꼽을 수 있으며, FED는 주로 과거에 시도되었던 기술, CNT BLU는 현재 개발 중인 기술, 조명은 미래에 가능한 기술로 특징지을 수 있다. 이에 관한 연구는 기존의 조명 기구들이 주로 수은을 함유하고 있어 환경 오염 문제를 내포하고 있고, 이 외에도 휘도와 효율을 개선시키는 데에 한계가 있다는 점에서 비롯되었다.

FED와는 달리 CNT BLU와 조명 같은 광원의 경우, 상대적으로 구조는 간단한 반면에 휘도가 수만 cd/m² 정도로 높

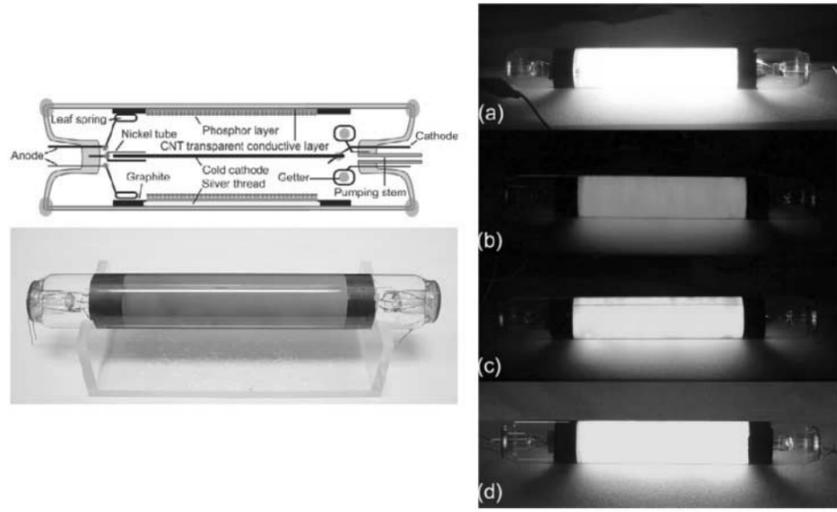
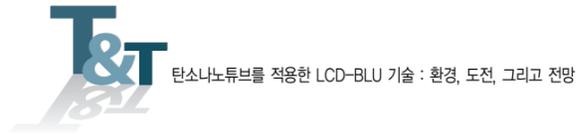
아야 하고, 용도에 따라 다양한 형태를 가져야 하며, 특히 색상, 연색성, 전력 소모, 수명 등에서 상이한 규격을 필요로 한다. 현재 연구되고 있는 광원의 형태는 디스플레이 구조와 유사한 평면형 광원, 램프 구조를 갖는 벌브형 광원, 그리고 형광등 형태를 갖는 직관형 광원 등으로 구분할 수 있으며, 용도에 따라 모양이나 성능이 매우 다양해질 수 있다.

3.2 CNT 전자방출원 적용 광원 개발에의 도전

CNT를 이용한 광원을 개발하고 있는 연구 기관이나 회사는 삼성종합기술원(SAIT), 삼성SDI와 나노퍼시픽(이상 한국), Applied Nanotech(미국), EPFL(Ecole Polytechnique Federal de Lausanne, 스위스), Ise Electronics(일본) 등이 대표적이며, 이외에도 Moscow State Univ.(러시아), Nanocs International(미국), Nanyang Technical Univ.(싱가포르) 등이 있다.

특히 삼성SDI는 SAIT와 공동으로 CNT BLU를 개발하여 오고 있으며, 2009년 8월 현재 제품화에 거의 근접한 것으로 알려져 있다. 30, 40인치급 CNT BLU 시제품이 시연되고 있으며, LCD의 영상신호에 맞추어 CNT BLU를 선택적인 부분만 빛을 내는 Local Dimming 기술로 100,000:1 이상의 명암비를 실현하고, 또한 동영상 구현시 발생하는 Motion blur 현상을 개선하고 있다.

EPFL은 유럽의 조명 관련 회사와 협력하여 기존의 형광

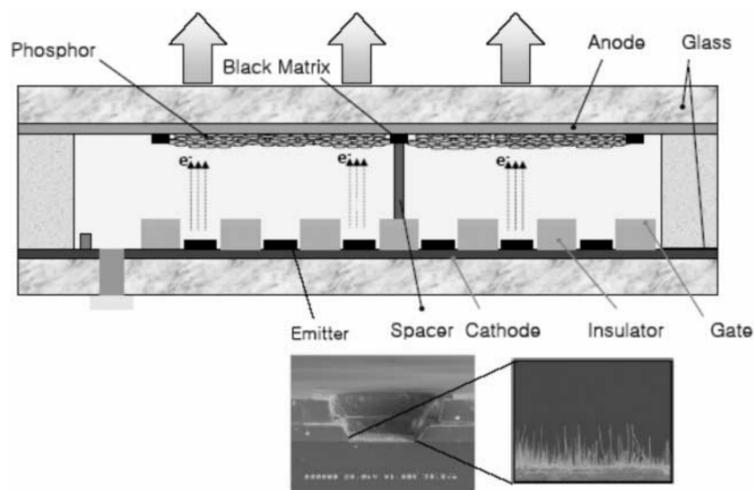


(출처: Nanotechnology, 2007년 7월)

〈그림 5〉 선형 CNT 전자방출원을 이용한 발광 튜브 및 동작 모양

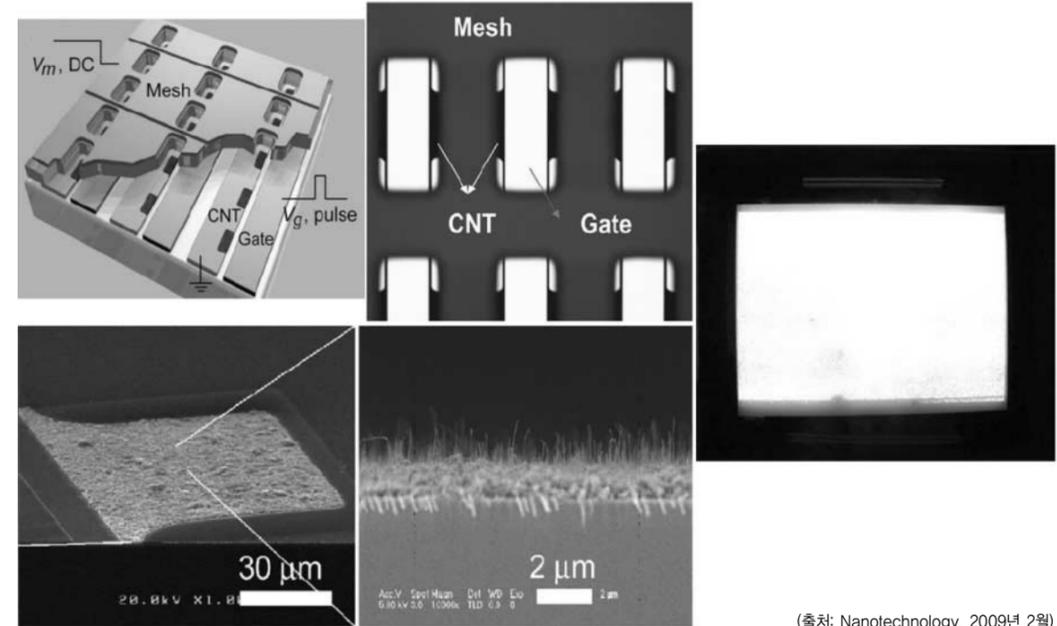
등을 대체하기 위한 직관형 광원을 개발 중이다. 효율과 가격은 기존 형광등과 동일하나, 수명이 없고, 휘도가 높은 점을 특징으로 하는 신광원 개발에 집중하고 있다. 최근의 일례로 중국의 Tsinghua대학에서 2007년 7월에 발

표한 발광 튜브를 들 수 있으며, 이는 CNT가 도포된 도선을 전자방출원으로 사용하여 조명용 광원을 제작한 것이다(그림 5).



(출처: SAIT, 2008년)

〈그림 6〉 CNT BLU의 구조 및 CNT 전자방출원의 모양



(출처: Nanotechnology, 2009년 2월)

〈그림 7〉 CNT BLU의 구조 및 CNT 전극부의 확대도와 동작 모습

4. CNT BLU의 도전과 전망

4.1 CNT 광응용 기기의 두 번째 실패는 없다?

CNT를 전자방출원으로 이용한 광응용 기기의 첫 번째 시도는 전계방출디스플레이(FED)로서, 유럽 회사를 필두로 하여 Motorola, Sony, 삼성, Canon 등이 TV 및 중소형 디스플레이 기기로서 개발을 시도한 바 있다. 이러한 시도는 소자의 균일성, 수명과 연관된 안정성과 같은 기술적인 장애와 경쟁 디스플레이 기술 및 시장 경쟁력의 한계, 특히 LCD 기술의 성능 향상-가격 하락의 속도를 따라가지 못하여 현재 개발이 정지되었거나 포기된 상태이다.

두 번째 시도가 LCD용 CNT BLU로서 Local Dimming 기능 및 동작 속도, 플라즈마 디스플레이(PDP) 공정을 모체로 한 가격 절감의 가능성, 그리고 수은, 납 등의 최소 사용으로 인한 친환경적인 요인의 강화 등이 기회 요인으로 작용하고 있다. 다만 첫 번째 시도의 좌절에 따른 후유증과 LED BLU의 약진으로 인하여 기업들이 공격적인 개발을 진행한다고

보다는 관망 내지는 미래형 기술로서 소극적으로 대응하고 있는 상태이다(그림 6).

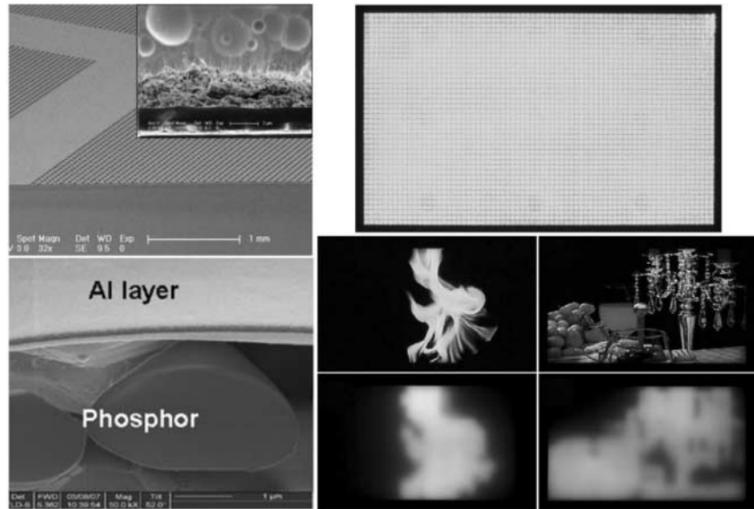
4.2 재기를 향한 움직임

SAIT의 경우 삼성SDI와 협력하여 CNT BLU의 기술적 성능을 향상시키기 위한 연구를 꾸준히 진행해 오고 있다. 2009년 2월에는 전자방출을 유도하기 위하여 전압을 인가하는 Gate 구조를 측면형으로 제작했고, 이에 추가적인 Mesh형 전극을 설치해 형광체의 효율과 휘도를 개선시킨 결과를 도출했다(그림 7).

삼성SDI의 경우 1990년대 중반부터 FED 개발을 진행해 왔으며, 최근에는 삼성전자와 SAIT와 협력하여 CNT BLU의 제품화에 박차를 가하고 있다. 2008년 5월에는 CNT BLU를 제작하고, 이를 LCD에 적용하여 Local Dimming과 Impulse형 구동을 수행한 논문을 발표했다. 이를 통해 1 cm² 면적의 블록 구조, 300,000:1의 대비비, 5.7 ms의 응답 속도, 특성의 균일성과 장기적인 동작 안정성을 달성하였다(그림 8).



탄소나노튜브를 적용한 LCD-BLU 기술 : 환경, 도전, 그리고 전망



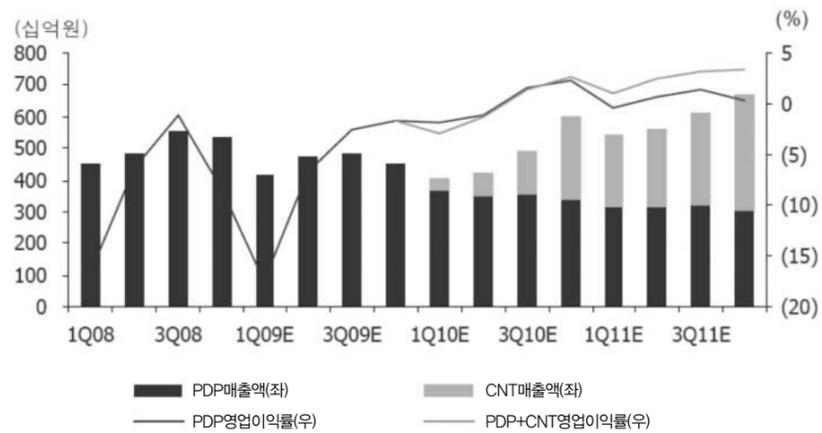
(출처: Nanotechnology, 2008년 5월)

〈그림 8〉 삼성SDI에서 개발된 CNT BLU의 CNT 전자방출원 및 형광체 부분과 이를 적용한 LCD 패널의 동작 모양

삼성SDI의 이러한 노력은 2009년 4월 기준, CNT BLU의 상용화 가능성이 높은 것으로 판단돼 PDP 사업 부문의 위축을 만회할 기술로서 투자 업계에서 긍정적으로 평가되고 있다(그림 9).

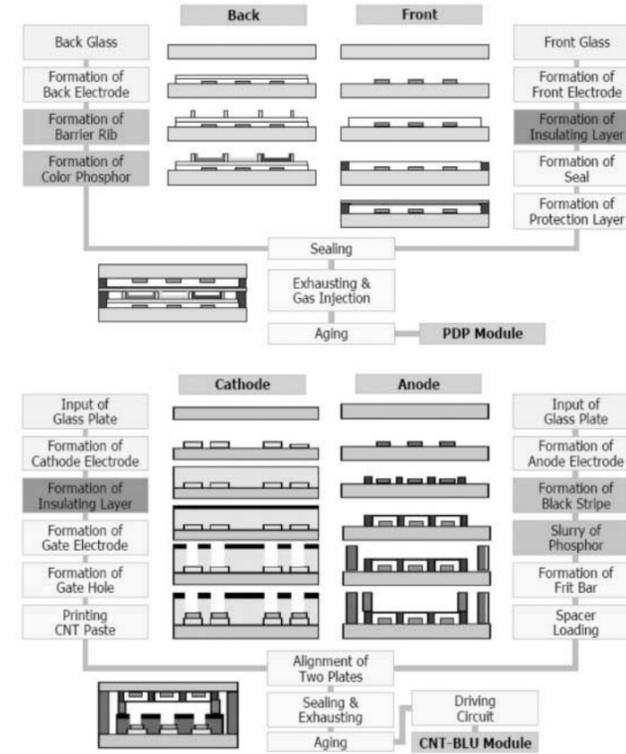
4.3 긍정적인 요인

첫 번째로 LCD의 성능 개선을 들 수 있다. 특히 LCD의 화면 이미지에 맞추어 BLU의 발광부분을 조절하는 Local Dimming 기능을 부여함으로써 명암비 증가를 통한 화질 개



(출처: 삼성SDI & 미래에셋리서치센터, 2009년 4월)

〈그림 9〉 삼성SDI의 CNT BLU 매출액 추정



(출처: 미래에셋리서치센터, 2009년 5월)

〈그림 10〉 제조공정에 있어서 PDP와 CNT BLU의 유사성

선이 가능하다. 아울러 발광 면적의 증가로 인한 고휘도, 면광원 고유의 특징인 광 균일도 등에서의 성능향상을 기대할 수 있다.

두 번째로 소비전력 감소이다. 즉 기존의 CCFL은 항상 전면발광 상태에 있는 반면에 CNT BLU의 경우 이미지에 대응하는 국부적인 발광으로 동작하므로 소비전력이 상대적으로 낮아진다.

세 번째로 가격절감 효과이다. CNT BLU는 면광원으로 주로 후막공정을 이용한 컨베이어 시스템 방식으로 제작되므로 소재 및 공정가격이 절감될 수 있고, 특히 기존 CCFL 등에 비해 인버터의 수를 급격히 줄일 수 있어 가격절감 효과가 크다. 더구나 CCFL BLU에서 필요로 하는 프리즘 시트, 확산

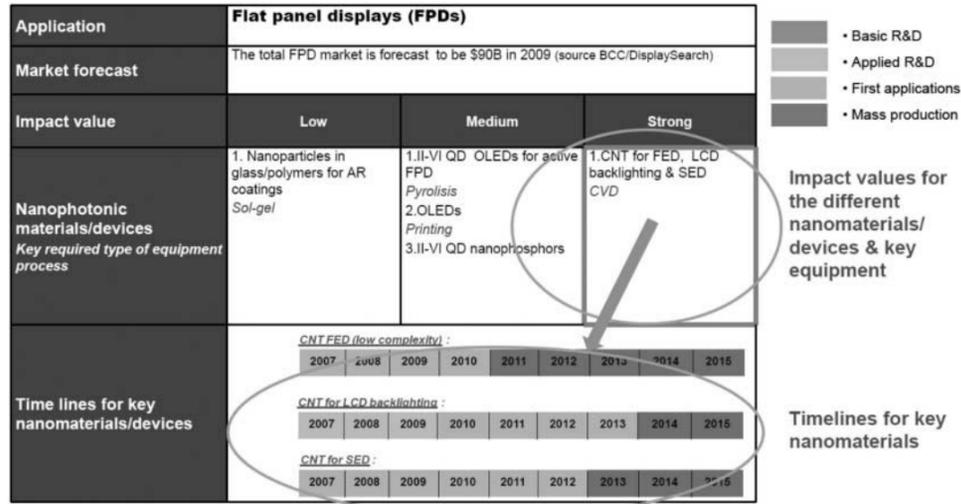
판, 반사판 등의 시트류를 없애거나 줄일 수 있다(그림 10).

네 번째로 친환경성을 들 수 있다. CNT 광원은 CCFL에 반드시 필요한 수은을 사용하지 않으며, 또한 무연 페이스트를 적용할 경우 납의 함유량을 낮출 수 있다. 전력 절감과 친환경성은 비단 유럽뿐만 아니라 전세계적으로 이슈가 되고 있다.

마지막으로 특히 중요한 점은 세계적인 경기침체로 인해 소비자의 구매력이 약화된 상태이므로 가격절감이 미치는 효과는 더욱 클 것으로 판단된다. 따라서 CNT BLU가 기술적인 일부 한계점들을 극복해 조기에 시장에 진입할 경우, 현재의 세계적인 환경요인은 오히려 기회가 될 수 있다. 최근 국내의 광원, 조명 관련 기술은 세계적인 수준에 접근하고 있



탄소나노튜브를 적용한 LCD-BLU 기술 : 환경, 도전, 그리고 전망



(출처: EPIC, 2008년 8월)

〈그림 11〉 CNT BLU를 포함한 나노 물질/소자의 발전 예측

으며, 이러한 기술 및 제품군들을 토대로 해 새로운 광원을 시도하려는 의지가 강하다.

4.4 부정적인 요인

기존 기술인 CCFL BLU의 단점을 극복할 수 있는 것으로서 LED BLU를 꼽을 수 있으며, 이를 통해 LCD의 성능 향상과 친환경성을 달성할 수 있다. 다만 현재는 LED의 소비전력을 낮추는 데에 한계가 있고 가격이 높다는 점이 CNT BLU의 잠재적인 경쟁력을 높이고는 있지만, 이미 시장에 나와있는 LED의 기술 발전이 계속되고 수요가 증가한다면 소비전력과 가격이 더 이상 문제가 되지 않을 시점이 올 것이다. 따라서 CNT BLU가 남아있는 기술적인 문제점들을 신속하게 해결하는 과정이 지연된다면 LCD BLU의 경쟁력이 더욱 강화되어 위협적인 저해 요인으로 작용할 여지가 있다.

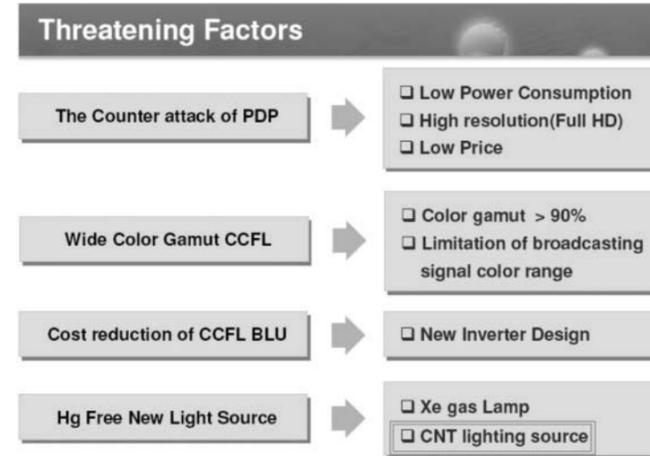
FED가 100% 완성되지 못하고 아직까지 표류하고 있는 것은 시장환경의 변화에도 원인이 있지만, 마지막 2~3%의 기술이 미해결된 상태로 남아있기 때문이다. CNT BLU도 아직 100% 완성된 기술이라 단언할 수 없다. CNT의 대면적 취급 기술, 균일도와 안정성의 한계, 진

공 패키징 후에 겪게 되는 불안정한 요인들이 우선적으로 해결되는 것이 선별 과제이다.

저가형 PDP TV와 고수준 OLED의 공세도 주요 인자인데, 현재 중국을 중심으로 한 저가형 대형 디스플레이인 PDP 경쟁력 강화, 일본을 중심으로 한 고수준 OLED 대형 디스플레이의 사업화 가속 등의 요인들이 대형 LCD의 경쟁력을 약화시키고 시장을 축소시킨다면 LCD BLU 시장 또한 위축될 것이다. 이러한 상태에서는 새로운 기술의 개발 및 투자보다는 기존 기술의 효과적인 활용을 추진할 가능성이 커지므로 CNT BLU 사업이 위축될 우려가 있다.

4.5 주요 예측 자료

EPIC의 'Timelines for Key Nanomaterials/Devices'의 평판 디스플레이의 예측 자료를 살펴보면, LCD BLU용 CNT 기술을 충격 수치가 강한 기술로 정의하고 있다. 즉, 2009년까지는 연구개발 기간, 2010년~2013년은 초기 실용화 기간, 2014년 이후를 대량 생산 기간으로 예측 중이다(그림 11).



(출처: 삼성전기, 2007년)

〈그림 12〉 LED BLU의 위협 요인

이와 함께 삼성전기에서는 LED BLU에 대한 위협 요인으로 CCFL의 성능 및 가격 관련 이슈와 함께 수은이 없는 신광원 분야에서 CNT BLU를 꼽고 있다(그림 12).

5. 요약 및 결론

나노 기술은 10여 년간의 연구 개발 결과로서 실용화 및 제품화가 강하게 추진되고 있으며, 이와 함께 에너지, 환경 개념이 한층 강화됐다. 나노 기술의 대표 물질인 CNT와 이를 전자방출원으로 적용한 CNT 광원도 나노 기술, 에너지, 환경이라는 명제에 잘 부합되는 분야이다.

LCD의 BLU 기술에 있어서 CCFL이 주류를 이루어 왔지만, 선광원으로 다수의 광학부품들이 필요한 점, 화면크기가 증가하면서 부피, 무게, 소비전력이 급증하는 점, Local Dimming 기능을 부여하기가 어려운 점, 수은과 같은 유해 환경 물질을 요구하는 점 등으로 인해 LED에 자리를 넘겨주는 단계에 이르렀다.

시장성의 관점에서 볼 때 CNT 전자방출원을 이용하는 광원 및 조명은 소비전력, 휘도, 색재현성, Local Dimming 기능, 대면적화 및 가격면에서 잠재적인 장점들을 보유하고 있다.

현재 삼성SDI와 삼성전자를 비롯한 일부 기업에서 CNT

BLU와 조명 기술 개발을 추진 중에 있으며, 기술적인 우수성뿐만 아니라, 환경적인 이슈, 시장 및 경제적인 요인들이 긍정적으로 작용한다면 LED BLU의 뒤를 잇는 차세대 BLU, 보다 발전된 광원 및 조명 기술로서 자리매김이 가능할 것으로 판단된다. EEP

(참고문헌)

- 김용철, 탄소나노튜브를 이용한 고효율 친환경 BLU, SAIT (2008).
- 송윤호 외, CNT BLU 개발 동향, 월간 전자부품, pp.28~35 (2009. 3.).
- 이학무 외, 삼성SDI - CNT BLU에서 빛을 찾다, Emerging Markets (미래에셋리서치센터) (2009.4.).
- 이학무 외, 새로운 LCD 광원을 맞이한다, Emerging Markets (미래에셋리서치센터) (2009.5.).
- 평판디스플레이 표준용어집, 한국디스플레이연구조합/한국정보디스플레이학회/산업자원부 기술표준원 (2008.2.).
- 함현주, LED BLU: Overview & Requirements, 삼성전기 (2007).
- Peter Kruger, Sustainable development: A challenge for nanotechnology, EuroNanoForum (2009.6.).
- Thomas Pearsall, Opportunities for European industry in emerging nanophotonics technologies, EPIC(European Photonics Industry Consortium) (2008.8.).
- Web-site: 고려대 - 디스플레이 및 나노시스템 연구실 (<http://diana.korea.ac.kr>)
- Yang Wei et al., Cold linear cathodes with carbon nanotube emitters and their application in luminescent tubes, Nanotechnology, vol.18, 325702 (2007.7.).
- Yong C Kim et al., Building a backlight unit with lateral gate structure based on carbon nanotube field emitters, Nanotechnology, vol.20, 09204 (2009.2.).
- Young Chul Choi et al., The high contrast ratio and fast response time of a liquid crystal display lit by a carbon nanotube field emission backlight unit, Nanotechnology, vol.19, 235306 (2008.5.).

감사의 글

본 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No 2009-0083126) 및 세계수준의 연구중심대학사업(R32-2008-000-10082-0)의 지원 하에 의해 수행되었습니다.